DIE RAUMSCHWELLE

BEI

SIMULTANREIZUNG.

INAUGURAL-DISSERTATION

VERFASST UND DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER

KGL. BAYER. JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

ARTHUR BRÜCKNER

AUS DORPAT.

NAUMBURG A. S.

LIPPERT & CO. (G. PATZ'SCHE BUCHDRUCKEREI)

1901.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Würzburg.

Referent: Herr Prof. Dr. M. von Frey.

In einer Mittheilung vom 9. November 1899[1] hat v. Frey gezeigt, dafs die verschiedene Raumschwelle, welche auf der Haut je nach successiver oder simultaner Reizung zweier Stellen zur Beobachtung kommt, im Wesentlichen darauf beruht, dafs im ersteren Falle periphere, im zweiten centrale Abschnitte des Sinnesapparates in Frage kommen. Obwohl nämlich die peripheren Einrichtungen eine getrennte Wahrnehmung der beiden simultan gereizten Orte erlauben würden, kommt es doch nicht dazu, weil durch irgend einen mehr central gelegenen Vorgang die beiden Erregungen wieder zusammenfliefsen. Aus diesem Grunde ist die „Simultanschwelle" (v. Frey l. c.) stets um Vieles gröfser als die „Successivschwelle" (ebendort).

Bei der geringen Zahl von Angriffspunkten, welche wir zum Studium centraler Theile des Nervensystems besitzen, schien die Aufgabe nicht uninteressant, zu untersuchen, von welchen Umständen es abhängt, ob zwei simultan auf die Haut applicirte Reize als zwei wahrgenommen werden oder nicht, d. h. wann eine Verschmelzung beider Erregungen stattfindet und wann sie unterbleibt.

Voraussetzung für diese Aufgabe ist eine Methode, welche wirklich genau gleichzeitige Erregung zweier Hautpunkte gestattet, da ja die geringste Ungleichzeitigkeit die Unterscheidung der beiden Erregungen begünstigt. Eine Unzulänglichkeit der Methode in dieser Richtung wird das Resultat derart beeinflussen, dafs alle anderen in Betracht kommenden Factoren dagegen verschwinden. Es braucht nicht näher ausgeführt zu werden, dafs weder der von Weber benutzte Cirkel noch die verschiedenen

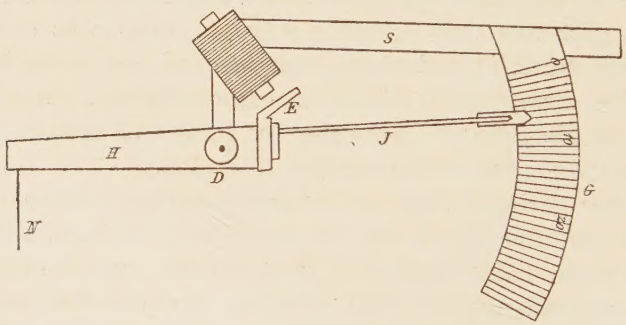
[1] M. von Frey. Ueber den Ortsinn der Haut. *Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg.*

demselben nachgebildeten Aesthesiometer dieser Anforderung genügen. Es ist thatsächlich unmöglich, mittels eines derartigen mit der Hand geführten Instruments, das Zeitintervall zwischen den beiden Reizen auf irgend einem constanten Werth zu halten Dies ist einer der Hauptgründe für das Unbefriedigende der bisherigen Bestimmungen der Raumschwelle.

Die nachfolgend beschriebene von Herrn Professor von Frey mir gütigst zur Verfügung gestellte Einrichtung gewährleistet vollkommen simultane Reizung. Sie könnte daher als Simultan-Aesthesiometer bezeichnet werden.

Beschreibung der Methode.

Der Apparat zur vollkommen simultanen Reizgebung setzt sich zusammen aus zwei völlig gleich gebauten Hebeln von folgender Construction (s. Fig.). Ein ca. 7 cm langer zweiarmiger



Holzhebel (*H*) von sehr geringem Trägheitsmoment mit dem Drehpunkt in *D* ist an dem Ende des langen Armes mit einer Nähnadel (*N*) armirt, deren stumpfes Ende nach abwärts sieht. Am anderen Hebelarm ist ein kleines Eisenstückchen (*E*) befestigt, welches als Anker dient und sich dem Eisenkern eines kleinen Elektromagneten gegenüber befindet. Dieser läfst sich, wenn die Nadel *N* auf die Haut aufgesetzt wird, durch einen Stellhebel (*S*), der mit dem Elektromagneten fest verbunden ist, in beliebige Entfernung von dem Anker bringen, durch Drehung um eine mit der Hebelaxe zusammenfallende Axe. Dieselbe geschieht mit genügender Reibung, um das Verharren des Elektromagneten in jeder gewünschten Stellung zu sichern. Eine Gradtheilung (*G*), welche an dem Stellhebel angebracht ist, und auf der ein mit

dem Reizhebel *H* verbundener Zeiger *J* spielt, gestattet die Entfernung zwischen Elektromagnet und Anker in Winkelgraden abzulesen; bei Berührung der beiden spielt der Zeiger auf 0 ein. Hierdurch ist ein willkürliches Maafs gewonnen für die Kraft, mit welcher der Anker vom Elektromagneten angezogen wird, und damit für die Reizstärke, d. h. für die Stärke, mit welcher die Nadel gegen die Haut gedrückt wird. Diese Form der Bestimmung und Einstellung der Reizstärke war für den vorliegenden Zweck nicht nur genau genug, sondern namentlich bei Benutzung stärkerer magnetisirender Ströme, also gröfserem Abstand zwischen Magnet und Anker, sogar von aufserordentlicher Feinheit. Die ganze beschriebene Einrichtung ist an einem Stativ befestigt und kann durch einen Trieb in beliebige Höhe eingestellt werden; aufserdem ist eine Drehung um eine horizontale Axe durch eine einfache Klemmvorrichtung ermöglicht.

Wie gesagt dienten zwei genau gleich gebaute Hebel von der beschriebenen Construction zur Reizgebung. Der Widerstand in den Spiralen der beiden Elektromagneten war ebenfalls genau abgeglichen und betrug 0,92 Ohm. Diesem gleich war ein dritter aus bifilar gewickeltem Draht bestehender Widerstand, welcher an Stelle eines der Elektromagneten treten konnte. Es mufste nämlich die Möglichkeit gegeben sein, bald nur den einen, bald beide Hebel in Thätigkeit zu versetzen, ohne eine Verminderung oder Vermehrung der Widerstände im Stromkreise zu schaffen, denn daraus würde eine Verstärkung resp. Abschwächung der Stromstärke resultiren, in Folge deren die Anker der Reizhebel nicht mit der gleichen Kraft angezogen werden würden. Damit würde aber auch die Stärke des Reizes auf der Haut für einen und denselben Hebel schwanken, und diese mufste constant erhalten werden können. Die drei unter sich gleichen Widerstände wurden nun in folgender Weise angeordnet.

1 2 3 4
• • • •

Die Punkte 1—4 stellen vier Quecksilbernäpfchen dar, deren jedes mit einer doppelt durchbohrten Klemme verbunden ist. Zwischen 1 und 2, sowie zwischen 3 und 4 ist je ein Elektromagnet, zwischen 2 und 3 der „vicariirende“ Widerstand eingeschaltet. Durch Umlegen eines Metallbügels, welcher je zwei

benachbarte Quecksilbernäpfchen verbindet, ist es möglich, einen oder beide Hebel einzuschalten, ohne dafs dabei eine Aenderung in den Widerständen und damit in der Reizstärke eintritt. Verbindet der Bügel die Näpfchen 1 und 2, so wird der Hebel zwischen 3 und 4 in Thätigkeit versetzt; wenn ein Kurzschlufs zwischen 2 und 3 hergestellt wird, so geht der Strom durch beide Hebel.

Die ganze Versuchseinrichtung setzte sich nun folgendermaafsen zusammen. Als Stromquelle dienten vier Daniell'sche Elemente, welche wegen des sehr constanten Stroms, den sie liefern, für den gegebenen Zweck sehr geeignet waren. In den Stromkreis eingeschaltet waren folgende Apparate: ein Stöpselrheostat, ein Siemens'sches Milli-Ampèremeter, dann der soeben beschriebene Schlüssel mit den Reizhebeln und ein gewöhnlicher Quecksilberschlüssel.

Diese Versuchsanordnung, speciell der eigentliche Reizapparat, erlaubte einmal vollkommene Simultanreizung zweier Punkte der Haut, sowie, durch die äufserst kleinflächige Berührung zwischen den Nähnadeln und der Haut, eine Beschränkung der Erregung auf einzelne Tastpunkte. Aufserdem gestattete sie, durch Aenderung der Entfernung zwischen Anker und Elektromagnet des Reizhebels, die Möglichkeit einer ganz genauen Dosirung der auf jeden Tastpunkt entfallenden Reizstärke. —

Da zur Anstellung der Versuche stets zwei Personen — Beobachter und Reagent — erforderlich waren, hatte Herr Professor von Frey die grofse Liebenswürdigkeit die Versuche mit mir zu machen. Es sei mir gestattet ihm an dieser Stelle dafür meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Beide Versuchspersonen hatten bei guter Beleuchtung unter der Lupe mit Reizhaaren[1] alle Tastpunkte aufzusuchen innerhalb einer Fläche von ca. 15 qcm der Beugeseite des linken Unterarmes, welche die Form eines Kreuzes hatte, dessen lange Axe in die Längsrichtung, dessen kurze in die Querrichtung des Unterarmes fiel. Da die Tastpunkte hier mit den Haarbälgen zusammenfallen, war die Aufsuchung sehr erleichtert;

[1] Siehe von Frey, Untersuchungen über die Sinnesfunctionen der menschlichen Haut, *Abhandlungen der Kgl. Sächs. Ges. der Wiss., math.-phys. Classe*, Leipzig 1896, S. 208 ff.

vorher wurden die Haare an der betreffenden Stelle kurz abgeschnitten. Die gefundenen Punkte wurden mit feinen Farbpunkten markirt und dann, nachdem ihre Lage durch eine eventuelle Correctur genau ermittelt war, mit kleinsten Tröpfchen einer 10 % Lösung von Silbernitrat fixirt. Sodann wurde auf einem Streifen Gelatinepapier, der über der Hautstelle befestigt wurde, die Lage der Tastpunkte und der Hauptvenen eingeritzt und darauf mittels eines in Glas geätzten Millimeternetzes eine Karte in 5facher Vergrößerung hergestellt.[1]

Jede Versuchsperson hatte außerdem eine Hohlform seines linken Unterarms in Gyps anzufertigen, welche die Beugeseite frei ließ. Diese Hohlform ließ sich derart in ein Gerüst einhängen, daß eine Drehung um ihre Längsaxe möglich war, was die Einstellung der Nähnadeln auf bestimmte Punkte sehr erleichterte.

Der Reagent hatte bei den Versuchen die Aufgabe seinen Unterarm in der Hohlform zu fixiren, bei geschlossenen Augen seine Aufmerksamkeit dem Versuch zuzuwenden und dann über die Empfindungen, welche die Reizung verursachte, Aussagen zu machen. Um möglichste Unbeweglichkeit und langes Ausharren in der angegebenen Stellung zu gestatten, wurde für bequemen Sitz des Reagenten gesorgt. Trotzdem waren zuweilen kleine Bewegungen nicht ganz zu vermeiden, wodurch Verschiebungen der Nadeln auf der Haut eintraten, welche von Zeit zu Zeit eine neue Einstellung derselben mitten in einer Versuchsreihe erforderten. Dem Reagenten war die Lage der gereizten Punkte bekannt; er wurde, wie unten noch zu erwähnen sein wird, durch ein verabredetes Wort von dem Eintritt der Reizung unterrichtet; im Uebrigen war das Verfahren ein völlig unwissentliches.

Der Beobachter hatte die Aufgabe, zuerst die Nähnadeln der beiden Reizhebel auf zwei vorher ausgewählte Punkte des Versuchsfeldes genau aufzusetzen und dann durch Drehung der Stellhebel an den Reizapparaten den Reiz in seiner Stärke je nach Erfordernis zu variiren, sowie, je nachdem der Versuch es verlangte, durch Umlegen des Metallbügels bald einen, bald beide Reizhebel in Thätigkeit zu versetzen. Er hatte ferner den

---

[1] Siehe M. von Frey und F. Kiesow, Ueber die Function der Tastkörperchen, *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 20, 132.

Reagenten durch einen Zuruf auf den Eintritt der Reizung aufmerksam zu machen, welche durch Schliefsen des Quecksilberschlüssels herbeigeführt wurde. Endlich hatte der Beobachter die gemachten Aussagen mit der zugehörigen Reizung zu Protokoll zu bringen.

Der gröfste Theil der Versuche wurde derart ausgeführt, dafs nach jeder einzelnen Reizung eine kleine Pause gemacht wurde, welche der Beobachter zum Protokolliren benutzte. Eine Aenderung in diesem Verfahren, welche für specielle Zwecke nothwendig wurde, wird weiter unten beschrieben werden.

Nach einigen Vorversuchen, die am Tage gemacht wurden, erwies es sich als unbedingt erforderlich, die Versuche spät Abends vorzunehmen, da jede Störung die Resultate durch Ablenkung der Aufmerksamkeit stark beeinträchtigte. Es wurde daher ausnahmslos in den Stunden von 8—11 Uhr Abends experimentirt, wodurch genügende Ruhe garantirt war. Ferner mufste der Raum entsprechend temperirt sein, ebenso die Hohlform, weil sonst sehr leicht störende Sensationen verursacht wurden. —

Es kann nun zur Schilderung der Versuchsergebnisse übergegangen werden.

Verschmelzung und Summation.

Die gestellte Aufgabe, zu untersuchen, unter welchen Umständen bei Simultanreizung zweier Punkte der Haut eine Verschmelzung beider Eindrücke und wann eine getrennte Wahrnehmung eintritt, führte darauf, zunächst Punkte mit kleiner Entfernung von einander zu verwenden, um da die Verhältnisse zu studiren. Es wurden Punkte gewählt, welche nahe zusammen lagen oder unmittelbar benachbart waren, von ziemlich hoher und unter sich möglichst gleicher Empfindlichkeit. Dabei zeigte es sich, dafs unmittelbar benachbarte Punkte bei gleichzeitiger Reizung niemals als zwei erkannt wurden, sondern man stets nur den Eindruck einer einfachen umschriebenen, nicht in irgend welcher Richtung ausgedehnten Erregung hatte. Dieselbe bot nur den Unterschied von der monostigmatischen Reizung, dafs sie stärker als diese erschien. Diese Thatsache der Verschmelzung ist besonders in dem Falle interessant, wenn beide Einzelreize unterschwellig sind, ihre Summe aber überschwellig wird und daher vom Bewufstsein wahrgenommen werden kann. Es mögen einige Beispiele folgen.

Versuch vom 13. III. 1900. Nr. IV.

Reagent v. F. Punkte *a* und *b*, Abstand derselben 4,2 mm.[1]

	a	*b*	
2.	13		nein
3.		10	nein
4.	13	10	ja schwach aber deutlich.

Versuch vom 13. III. 1900. Nr. VI.

Reagent B. Punkte *f* und *h*. Abstand 5 mm.

	f	*h*	
27.	13		nein
28.		11	nein
29.	13	11	ganz schwach und diffus.

Versuch vom 13. III. 1900. Nr. VII.

Reagent v. F. Punkte *p* und *d*. Abstand 12,2 mm.

	p	*d*	
3.	13	14	ja
4.		14	nein
5.	13		nein
⋮			
26.	11		nein
27.	11	13	ja
28.		13	nein.

Versuch vom 17. III. 1900. Nr. IV.

Reagent B. Punkte *m* und *q*. Abstand 41 mm.

	m	*q*	
32.		13	nichts
33.	6	13	eine Spur gefühlt
34.	6		nichts
35.	6	13	eine Spur
36.		13	nichts.

Die Beispiele liefsen sich leicht noch mehren.[2]

Diese Thatsache beweist, dafs bei Schwellenbestimmungen auf dem Gebiete des Tastsinns (Bestimmung der Feinheit des

---

[1] Hier wie in allen citirten Versuchen stehen in der ersten senkrechten Reihe die Nummern der Einzelversuche, dann folgen die auf den einzelnen Tastpunkt jedesmal entfallenden Reizstärken in Winkelgraden angegeben. Zuletzt folgen die zugehörigen Aussagen des Reagenten.

[2] Ein ferneres Beispiel findet sich auf S. 19 Anmerkung (Versuch 6—9)

Tastsinns) die Gröfse der Reizfläche in Betracht kommt nicht nur bezüglich der auf den einzelnen Tastpunkt entfallenden Reizwirkung[1], sondern auch hinsichtlich der Zahl der durch sie getroffenen Tastpunkte.[2]

Ferner ist dadurch aber auch bewiesen, dafs es Reize geben mufs, welche an sich zwar zu schwach sind, um bewufst zu werden, die aber doch eine Veränderung im Centralnervensystem hervorrufen derart, dafs sie von einem gleichartigen, an sich auch unterschwelligen unterstützt, zum Bewufstsein kommen können. —

Offenbar ist diese Thatsache nur ein specieller Fall einer allgemeineren Erscheinung, nämlich der, dafs zwei gleichartige Eindrücke im Centralnervensystem irgendwie in Beziehung treten. Der vorliegende Fall zeigt eine quantitative gegenseitige Beeinflussung im Sinne einer Verstärkung. Man kann diesen speciellen Fall der gegenseitigen Verstärkung als Summation bezeichnen. Es ist nun von grofsem Interesse zu untersuchen, welche genaueren Verhältnisse bei dieser quantitativen Beeinflussung zweier Reize vorliegen; zugleich könnte vielleicht dadurch die Möglichkeit gegeben werden, daraus Folgerungen auf die Gröfse der simultanen Raumschwelle zu ziehen.

Zunächst aber handelte es sich darum, ausgehend von der gefundenen Thatsache, dafs eine Summation zweier gleichartiger Reize stattfindet, dieser Erscheinung nachzugehen.

Das Experimentiren mit untermerklichen oder ebenmerklichen Reizen zeigte sich aber als ungemein schwierig, denn der Reagent wurde durch die Anspannung der Aufmerksamkeit auf die immer um die Schwelle sich bewegenden Reize derart ermüdet, dafs darunter die Zuverlässigkeit der Aussagen litt und längere Versuchsreihen nicht ausführbar waren. Es ist aber augenscheinlich auch gar nicht nothwendig mit so schwachen Reizen zu arbeiten, denn es genügt offenbar zum Nachweise der Summation, wenn die Empfindung, welche der Doppelreiz auslöst, stärker erscheint, als die, welche jeden Einzelreiz begleitet. Es wurde daher mit überschwelligen Reizen experimentirt und die Resultate waren sofort an Zahl und Sicher-

---

[1] Siehe v. Frey und Kiesow l. c.

[2] Ueber ähnliche Erscheinungen auf dem Gebiete des Gesichtssinnes s. E. A. Fick in Pflüger's *Archiv* **17**, 152 und **43**, 441.

heit ungleich bessere. Es mögen einige Beispiele folgen, um die Art und Weise zu zeigen, wie die Resultate gewonnen wurden.

Versuch vom 15. III. 1900. Nr. VI.
Reagent B. Punkte *v* und *p*. Abstand 3,8 mm.

	v	*p*	
39.	14		eine Spur gefühlt
40.	14	10	ja deutlich
41.		10	eine Spur.

Versuch vom 20. III. 1900. Nr. II.
Reagent v. F. Punkte *c* und *y*. Abstand 5 mm.

	y	*c*	
7.		8	ja ganz minimal
8.	10	8	ja deutlich stärker
9.	10		etwas schwächer.

Versuch vom 20. III. 1900. Nr. III.
Reagent B. Punkte *c* und *q*. Abstand 3,2 mm.

	q	*c*	
42.		7	eine Spur
43.	6	7	ja deutlich
44.	6		minimal.

Es wurde hier zwischen jedem Einzelversuch eine kleine Pause gemacht. Dabei zeigte sich aber ein grofser Uebelstand: die Vergleichung der Stärke der Empfindungen war durch das lange Zeitintervall, welches zwischen den Einzelversuchen lag, sehr erschwert. Daher ergaben sich zu viele unbestimmte Resultate. Um dem abzuhelfen wurde die Reihenfolge der Reize derart geändert, dafs immer zwei Reizungen unmittelbar hinter einander gegeben wurden, zwischen denen zu vergleichen war. Das Intervall zwischen beiden betrug stets 1—2 Sec.

Folgende Ueberlegung rechtfertigt diese Methode. Offenbar ist nämlich auch dann Summation nachgewiesen, wenn der Doppelreiz stärker imponirt, als der unmittelbar vorher oder nachher gegebene Einzelreiz. Der Einwand, dafs die stärkere Empfindung möglicherweise ja nur durch den beim Doppelreiz gegebenen Reiz *b* ausgelöst werden könne, wenn dieser stärker als *a* sei, der allein zur Vergleichung gegeben wurde, läfst sich dadurch entkräften, dafs abwechselnd bald *a*, bald *b* allein, bei Constanterhaltung der Reizstärke jedes Punktes, zur Vergleichung

gegeben wurden, und aufserdem für eine möglichste Abgleichung der Einzelreize gesorgt wurde. Besonders wenn man dieser zweiten Forderung genügte, war die Summation schlagend zu beweisen, weil ja dann der Reizzuwachs beim Doppelreiz stets gegenüber der monostigmatischen Reizung am gröfsten ist. Zur Erläuterung des Verfahrens diene folgendes Beispiel:

Versuch vom 19. X. 1900. Nr. III.
Reagent v. F. Punkte η und ζ. Abstand 2,7 mm.

	η	ζ	
38.	5	5	der erste Reiz viel stärker
	5		
39.		5	der zweite deutlich stärker
	5	5	
40.	5		sind nahezu gleich
	5	5	
41.	5	5	der erste ist stärker.
		5	

Das Beispiel zeigt drei zweifellos für Summation sprechende Aussagen (38, 39, 41). Dieselben sollen im Folgenden immer als r-Fälle (richtige Fälle) bezeichnet werden, im Gegensatz zu den falschen Aussagen (f-Fälle), wo der Einzelreiz für stärker erklärt wurde. Versuch 40 scheint eine unbestimmte Aussage zu enthalten, und doch kann auch sie unbedenklich mit zu den r-Fällen gerechnet werden. Es findet nämlich bei der schnellen Reizfolge eine Ermüdung im peripheren Endorgane statt.[1] Dadurch ist der Erfolg der Reizung bei der unmittelbar folgenden zweiten Erregung des Organs ein geringerer. Das Deficit wird durch den hinzu-

---

[1] Siehe v. Frey, Untersuchungen über die Sinnesfunctionen der Haut, l. c. S. 220.

Dafs eine periphere Ermüdung stattfindet, läfst sich auch aus den vorliegenden Versuchen beweisen, z. B.:

Versuch vom 21. III. 1900. Nr. III.
Reagent v. F. Punkte a und b. Abstand 4,2 mm.

	b	a	
26.		8	zuerst schwacher Reiz, dann eigentlich nichts.
		8	
52.	8	8	der erste ein bischen stärker.
	8	8	

kommenden zweiten Reiz gerade gedeckt, und daher erscheinen die Empfindungen gleich. Deshalb kann man diese Aussagen zu den r-Fällen rechnen.

Umgekehrt wurden die Versuche, wo Gleichheit zwischen beiden Empfindungen ausgesagt wurde, den f-Fällen zugezählt, bei denen zuerst der Doppelreiz und dann der Einzelreiz gegeben wurde, weil hier unter allen Umständen eine schwächere Empfindung den Einzelreiz begleiten müfste. Direct positiv lautende Aussagen bei dieser Reizfolge (wie z. B. in dem angeführten Beispiel in dem Versuch 38) wurden aber, obwohl wegen der Ermüdung im peripheren Organ ja eigentlich nur die umgekehrte Reizfolge streng beweisend für Summation ist, doch den r-Fällen zugerechnet, weil der Intensitätsunterschied fast stets sehr bedeutend war.

Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht über die Resultate, welche mit dieser Methode unter Anwendung der eben ausgesprochenen Kriterien für r- und f-Fälle sich ergeben haben.

Fortlaufende Nummer	Reagent	Punkte	Abstand in mm	Resultate		% der r-Fälle
1	B.	γ δ	2,0	35 r	6 f	85
2	v. F.	η ζ	2,7	32 r	—	100
3	v. F.	l m	3,0	45 r	14 f	76
4	B.	c q	3,2	22 r	13 f	63
5	B.	v β	3,6	38 r	6 f	86
6	v. F.	a b	4,2	31 r	7 f	82
7	v. F.	c d	10,0	58 r	21 f	73
8	B.	c v	12,0	17 r	4 f	81
9	B.	p z	14,0	37 r	7 f	84
10	B.	α β	20,0	27 r	9 f	75
11	v. F.	c e	20,2	36 r	8 f	82
12	v. F.	t y	29,0	42 r	7 f	86
13	v. F.	α β	30,0	13 r	2 f	87

Wie aus der Tabelle ersichtlich, sind nach dieser Methode Versuche nicht nur bei geringem Abstande der Punkte von einander gemacht worden, sondern solche bis zu Distanzen von 30 mm. Die Versuche sind so geordnet, dafs diejenigen mit den kleinsten Abständen zuerst angeführt sind. —

Gehen wir zur Discussion der Tabelle über. Zunächst ist dadurch einwandsfrei bewiesen, dafs eine Summation in diesen Abständen überhaupt stattfindet, denn durchschnittlich sind 81,5 % r-Fälle zu verzeichnen. Die auffallendste Thatsache dabei ist zweifellos, dafs, wie der Stab mit den Procentzahlen der r-Fälle zeigt, die Fälle von Summation bei allen Entfernungen innerhalb der gegebenen Abstände, d. h. von unmittelbar benachbarten Punkten bis zu einem Abstand von 30 mm, in ungefähr gleicher Zahl vorhanden sind.

Bei den Versuchen, in denen eine starke Abnahme der r-Fälle vorliegt, lassen sich jedesmal bestimmte Ursachen dafür nachweisen. Nr. 4 war der erste Versuch, der nach der neuen Methode angestellt wurde, wo weder Beobachter noch Reagent darauf eingeübt waren; zudem wurde bei diesem Versuch noch nicht das Commando des Beobachters: „jetzt — eins — zwei" gegeben, welches den zeitlichen Eintritt jedes Reizes genau anzeigte und damit dem Reagenten die Aufgabe wesentlich erleichterte. Versuch 7 war der erste nach einer Pause von über einem halben Jahr, aufserdem fehlte eine genügende Abgleichung der Stärke der Einzelreize, und in Folge ungenügender Pausen zwischen den Einzelversuchen trat wahrscheinlich starke Ermüdung sowohl peripher, wie central ein. Bei Versuch 3 ist das wenig günstige Resultat auf die unbequeme Haltung des Reagenten und die Störung durch einen gleichzeitigen heftigen Sturm zurückzuführen, der allerlei störende Geräusche verursachte. Bei Versuch 10 ist als der störende Factor besonders das Interesse, welches der Reagent an der Erkennung der Doppelreizung nahm, anzusprechen, also eine mangelnde Concentration der Aufmerksamkeit auf die Stärke der Empfindung allein. Aufserdem giebt das Protokoll an, dafs Reagent durch starke Parästhesien im Arme, an dem das Versuchsfeld sich befand, belästigt wurde. — Sehr interessant ist Versuch 2, wo 100 % richtige Aussagen gemacht wurden. Dieses günstige Resultat ist zum Theil wohl auf gute Disposition des Reagenten zu beziehen, vor Allem aber auf das Einhalten genügend langer Pausen zwischen den Einzelversuchen (ca. 30 Sec. zwischen zwei Doppelreizungen).

Es lassen sich nun unter Heranziehung einiger früherer Versuche, welche noch mit der weniger vollkommenen Methode der Aufeinanderfolge der Reize gemacht wurden, folgende

Factoren als einflufsreich für das Zustandekommen von Summation bei einer Entfernung beider Tastpunkte bis zu 30 mm, nachweisen.

Wie schon oben erwähnt, ist es günstig für das Zustandekommen der Summation, wenn eine möglichste Abgleichung in der Stärke der Einzelreize vorhanden ist. Dann ist der Reizzuwachs bei der Doppelreizung stets am gröfsten, gleichgültig, welcher Einzelreiz zur Vergleichung gegeben wird. Ebenso ist eine möglichst gleiche Empfindlichkeit beider Punkte von Vortheil. Die bestimmtesten Aussagen für Summation finden sich bei den Versuchen, wo Empfindlichkeit und Reizstärke für beide Punkte annähernd gleich sind.

Neben diesen beiden Momenten, welche von dem Reagenten unabhängig sind, zeigen sich aufserdem Factoren von ausschlaggebender Bedeutung, welche in hohem Maafse der augenblicklichen Disposition der Versuchsperson unterworfen sind. In erster Linie ist hier die Aufmerksamkeit zu nennen. Ist dieselbe nicht ausschliefslich auf den Versuch gerichtet, so sinkt sofort die Zahl der richtigen Aussagen. Jede äufsere Störung wie Lärm oder abnorme Sensationen irgend welcher Art lenken die Aufmerksamkeit ab, und damit treten fehlerhafte Aussagen ein. Oben sind einige derartige Beispiele für ganze Versuchsreihen angeführt; Einzelheiten zu erwähnen dürfte kaum lohnend sein.

Neben diesen mehr äufseren Momenten, welche die Aufmerksamkeit abziehen, kommen nun auch noch „innere“ Ursachen in Frage. Die Aufmerksamkeit mufs nämlich derart gerichtet sein, dafs ganz speciell nur auf die Stärke der Empfindungen geachtet wird. Sobald der Reagent z. B. noch auf Localisation oder auf Erkennung der Doppelreize als zwei Empfindungen sein Interesse wendet, werden die Resultate für Summation schlechter. Einige Beispiele mögen zum Belege des Gesagten dienen.

Im Versuch II vom 19. X. 1900[1], Reagent B., Abstand der Punkte 3,6 mm, findet sich im ersten Theile des Versuchs, welcher 19 Einzelversuche über Summation enthält, nur eine falsche Aussage; in den folgenden 13 Versuchen richtete Reagent aufserdem seine Aufmerksamkeit noch auf die Localisation der Einzelreize. Das Resultat ist, dafs 4 Fehler und nur 9 richtige

[1] In der obigen Tabelle Versuch 5.

Aussagen auftreten. Als dann zum Schlusse des Versuchs die Localisation wieder ganz vernachlässigt wurde, und die Aufmerksamkeit sich nur der Stärke der Empfindungen zuwandte, ergeben 12 Versuche nur einen Fehler.

Zum Beweise, dafs das Bestreben Doppelreize zu erkennen störend für die Summationsresultate ist, sei Folgendes ausgeführt.

Versuch vom 21. III. 1900 [1], Reagent B., Abstand der Punkte 3,2 mm. Der erste Theil des Versuchs ergiebt durchaus brauchbare Resultate. Da werden plötzlich zwei Reize empfunden (s. darüber unten S. 20f. Anmerkung). Sofort wendet sich die Aufmerksamkeit auch diesem Punkte zu, und es sind nun unter den 16 nächsten Versuchen nur 8 richtige Aussagen.

Ferner ist eine zu starke allgemeine Ermüdung der Versuchsperson nicht günstig. Eine gewisse Ermüdung ist dagegen fast von Vortheil, weil in völlig frischem Zustande die Aufmerksamkeit des Reagenten gewissermaafsen zu „beweglich“ ist, so dafs leicht eine Ablenkung von dem einseitigen Interesse stattfindet. Der Reagent kommt dagegen bei einiger Ermüdung in einen gewissen apathischen Zustand, welcher die Gleichmäfsigkeit der Aussagen begünstigt.

Im Gegensatz hierzu ist die periphere Ermüdung, d. h. die Ermüdung des peripheren Sinnesapparates durch zu schnelle Reizfolge von unbedingtem Nachtheil: dadurch leidet das Resultat. Der Versuch 2 der Tabelle, der 100 % richtige Aussagen enthält, verdankt das gute Resultat, wie bereits erwähnt, zum gröfsten Theil der Einhaltung genügend langer Pausen zwischen den einzelnen Versuchen.

Die bisher besprochenen Ergebnisse sind gewonnen worden aus Versuchen, bei denen der Abstand der Punkte von einander nicht mehr als 30 mm betrug. Es wäre nun interessant zu untersuchen, ob auch noch in gröfserer Entfernung Summation stattfindet, oder ob etwa von einer bestimmten Grenze an dieselbe aufhört, und andere Beziehungen sich zwischen den beiden Reizen geltend machen. Leider stehen mir speciell für diesen Zweck nur wenige Versuche zur Verfügung, welche auch nicht nach derselben Methode angestellt wurden, wie die eben mitgetheilten Experimente. Bei denselben wurde jede Reizung einzeln

[1] In der Tabelle Versuch 4.

gegeben und dann eine Pause gemacht. Daher war die Vergleichung erschwert. Gleichwohl gestatten die Versuche bestimmte Schlüsse.

Es liegen vor ein Versuch mit einem Abstand der Punkte von 62 mm (Reagent B.) und zwei Versuche mit 84 mm (Reagent v. F.). Die Resultate sind kurz folgende.

Sicher zu beweisen ist, dafs noch bis zu dieser Entfernung Verschmelzung der Reize zu einer Empfindung und deutliche Summation stattfinden kann. Es findet sich sogar zweimal bei der Entfernung von 84 mm eine merkliche Empfindung, während jeder der Einzelreize untermerklich ist. (S. die Anmerkung auf S. 19.)[1] Die Summation vollzieht sich anscheinend nicht mehr mit der Sicherheit, wie bei kleineren Entfernungen, jedoch ist an dem Vorkommen dieser Erscheinung bei so grofsen Abständen nicht zu zweifeln. Sie scheint nach einigen anderen Versuchen, welche freilich mit anderer Fragestellung gemacht wurden, sogar noch bis zu einer Entfernung von 134 mm (Reagent v. F.) und 142 mm (Reagent B.) auftreten zu können. Eine sichere Behauptung, dafs Summation in so grofsen Entfernungen noch stattfindet, erlauben die wenigen vorliegenden Aussagen aber nicht.

Leider kann auch für eine andere sehr interessante Erscheinung der Beweis nicht mit Sicherheit erbracht werden, weil dazu die Versuche nicht ausreichend sind. Mit Zunahme der Distanz zwischen beiden Tastpunkten scheint nämlich die Zahl derjenigen Fälle zuzunehmen, wo die Doppelreizung s c h w ä c h e r imponirt, als die Einzelreizung. Bis zu 30 mm ist, wie aus der Tabelle ersichtlich, ihr Vorkommen ein so spärliches, dafs sie unbedenklich als Versuchsfehler angesprochen werden können. In den drei soeben erwähnten Versuchen mit Entfernungen von 62 resp. 84 mm aber macht sich, obwohl dieselben ja eine Vergleichung mit den nach anderer Methode gewonnenen Resultaten nicht direct gestatten, doch eine derartige Erhöhung der Zahl dieser, oben als f-Fälle bezeichneten, Aussagen geltend, dafs die Möglichkeit einer „Subtraction" wohl nicht ausgeschlossen werden kann. Einer analogen Erscheinung werden wir bei der Untersuchung der quantitativen Beziehungen zwischen beiden Reizen bei Erkennung der Doppelreizung begegnen, so dafs hier doch wohl eine allgemeinere Erscheinung vorzuliegen scheint.

[1] Derartige Fälle sind bei kleineren Entfernungen noch öfters beobachtet worden, so z. B. bei 23 und 41 mm (vgl. S. 9).

Disparation.

Die soeben mitgetheilten Resultate haben von neuem die längst bekannte Thatsache ergeben, dafs zwei gleichartige Reize, wenn ihre getrennte Wahrnehmung nicht gelingt, verschmolzen werden. Aufserdem aber hat sich herausgestellt, dafs eine Wechselbeziehung zwischen beiden Reizen stattfindet, welche von Einfluss ist auf die Intensität der wahrgenommenen Empfindung. Damit ist ein neues Kriterium gewonnen für das Studium der Gröfse der Einflufssphären, welche den einzelnen Tastpunkten im Centralnervensystem zukommen, und damit nach den Eingangs gemachten Erörterungen, für die Gröfse der simultanen Raumschwelle auf der Haut. Die gewonnenen Resultate legten vor allem den Gedanken nahe, die Thatsache der Summation zur Untersuchung dieser Frage zu verwenden.

Die einfachste Anwendung dieses Phänomens zur Lösung der Frage, wie grofs die simultane Raumschwelle sei, scheint diejenige zu sein, dafs man untersucht bis zu welchem Abstand der Tastpunkte von einander zwei untermerkliche Reize noch zu einer merklichen Empfindung verschmolzen werden. So lange dieses noch stattfindet, mufs offenbar die simultane Raumschwelle noch nicht erreicht sein.

Gelänge es diesen Gedanken experimentell durchzuführen, so hätte man ein sehr scharfes Kriterium: so lange nämlich überhaupt noch etwas gefühlt wird, ist die Raumschwelle noch nicht erreicht. Es wäre dieses eine ganz andere Art, die Gröfse der Raumschwelle zu bestimmen, als die von Weber angegebene mittels des Tastercirkels, wo angegeben werden mufs, ob eine oder zwei Empfindungen wahrgenommen werden.

So einleuchtend der eben ausgesprochene Gedanke auf den ersten Blick erscheint, so stellen sich ihm doch grofse Schwierigkeiten entgegen. Geht man nämlich, wie wir es gethan haben, von der Annahme aus, dafs bei Reizung eines Tastpunktes eine Diffusion der Erregung im Centralnervensystem stattfindet, so muss die Gröfse dieses „Diffusionskreises“ offenbar abhängig sein von der Stärke der Reize, welche das periphere Organ trifft — es ist das ein allgemeiner Grundsatz in der Physiologie des Centralnervensystems. Nun ist aber ein untermerklicher Reiz noch lange keine constante Gröfse, sondern kann grofsen Schwankungen unterworfen sein. Daher müfste beim Experi-

mentieren die Voraussetzung gemacht werden, dass die untermerklichen Reize alle etwa denselben Abstand von dem Schwellenreiz für die betreffenden Tastpunkte haben. Nur dann könnten brauchbare, untereinander vergleichbare Resultate erhalten werden.[1]

Dieser Forderung zu genügen ist aber kaum möglich, so dafs schon aus diesem Grunde auf die Ausführung verzichtet wurde, abgesehen davon, dafs das Arbeiten mit derartig schwachen oder unmerklichen Reizen aufserordentlich ermüdend für den Reagenten ist, selbst wenn zuweilen stärkere Reize „zur Erholung" gegeben werden (s. das Beispiel in der Anmerkung auf dieser Seite, Versuch 7).

Man könnte nun auf den Gedanken kommen auch hier, wie bei den Summationsversuchen, überschwellige Einzelreize zu benützen, und die Raumschwelle so gross anzunehmen, als noch Summation stattfindet. Aber dabei läfst sich genau der gleiche Einwand machen, wie bei Verwendung unterschwelliger Reize, denn auch hier ist offenbar die Diffusion der Erregung im Centralnervensystem d. h. die Gröfse der Einflufssphäre eines Tastpunktes abhängig von der Stärke der Reizung des peripheren Sinnesapparates.

Es liess sich also die vorliegende Methode der vollkommen simultanen Reizung zweier Punkte der Haut zur Bestimmung der simultanen Raumschwelle vorläufig nicht anders verwenden, wie der alte Weber'sche Tastercirkel. Nur gestattete die vollkommen simultane Reizung und die Beschränkung derselben auf zwei bestimmte Sinnesendapparate bei der Möglichkeit der genauen Dosierung der Einzelreize eine ungleich gröfsere Exakt-

---

[1] Zum Beweise, dafs untermerkliche Reize sehr verschieden grofs sein können, sei zum Ueberflufs folgendes Beispiel angeführt:

Versuch vom 15. III. 1900. Nr. I.
Reagent v. F. Punkte x und y. Abstand 84 mm.

	y	x	
2.	20		ja
3.	25		nein
4.		20	nein
5.	25	25	nein
6.		10	nein
7.		3,5	ja deutlich
8.	25	10	ja sehr schwach
9.	25		nein.

heit. Es ist dadurch auch in der That gelungen, eine Anzahl von Bedingungen festzustellen, von welchen es abhängt, ob zwei Reize getrennt wahrgenommen oder zu einer Empfindung verschmolzen werden.

Das Hauptresultat der Untersuchungen über Erkennung der Doppelreize als zwei disparate Eindrücke möge vorangestellt werden. Zwei Reize werden nämlich unter Umständen getrennt wahrgenommen bei einer Entfernung der Punkte von einander, in der sonst in der Regel eine Verschmelzung und Summation beider Einzelreize stattfindet. Es können also sowohl Summation mit Verschmelzung wie Disparation (Erkennung von zwei Reizen) bei derselben Entfernung vorkommen. Damit ist gesagt, dafs es für ein bestimmtes Individuum eine bestimmte simultane Raumschwelle nicht giebt. Eine allgemeingültige Zahl für die Gröfse derselben ist natürlich vollends nicht anzugeben d. h. es ist nicht möglich zu sagen, dafs von einer bestimmten Entfernung der Einzelreize von einander an, stets die Wahrnehmung zweier räumlich getrennter Eindrücke stattfindet.

Die kleinste Entfernung, bei der in den vorliegenden Versuchen dieses stattfand, betrug 20 mm. Hier wurden bei einer Versuchsreihe, in der 36 Doppelreize gegeben wurden 5 mal zwei Reize richtig erkannt. Es ist damit jedenfalls der Beweis erbracht, dafs beim Zusammentreffen gewisser Bedingungen eine Disparation zweier Reize in dieser Entfernung möglich ist. Diese Zahl ist bedeutend kleiner, als die ursprünglich von Weber für diesen Theil des Körpers angegebene (Beugeseite des Unterarmes 18 Pariser Linien = 40,5 mm).

Es kann aber die simultane Raumschwelle auch bedeutend gröfser werden, so wird z. B. bei einer Entfernung von 143 mm [1] durchaus nicht immer der Doppelreiz als solcher erkannt.[2]

[1] Zur Anstellung der Versuche mit so grofsen Abständen wurde ein Punkt des gewöhnlichen Versuchsfeldes am Unterarm und einer unmittelbar proximal vom Handgelenk verwendet.

[2] Es hat sich auffallenderweise gezeigt, dafs bei 3,2 mm resp. 3,6 mm Abstand der Einzelreize von einander einige Male die Doppelreizung erkannt worden ist. Ich möchte das nicht unerwähnt lassen, obwohl ich dieser Thatsache kaum eine Bedeutung beimessen kann, da gleichzeitig in denselben Versuchsreihen „Vexirversuche“ vorliegen, d. h. Versuche, bei denen der Einzelreiz für doppelt gehalten wird (bei 3,2 mm in einem Versuch viermal zwei Reize richtig erkannt, bei sechs „Vexirversuchen“; in einer anderen Versuchsreihe bei 3,2 mm dreimal zwei Reize richtig erkannt und

Während also die Erkennung der Doppelreizung nur bis zu einem gewissen Grade von dem Abstand der Einzelreize sich abhängig zeigt, haben sich andere Faktoren von gröfserer Bedeutung für Erkennung der Disparation erwiesen.

Es hat sich auch bei den vorliegenden Versuchen, wie lange bekannt, herausgestellt, dafs die Disparation leichter ist in der Queraxe, als in der Längsaxe des Unterarms. Die Zahl der richtigen Aussagen ist im ersten Falle bei gegebener Entfernung eine gröfsere als im zweiten.

Auch der schon bekannte Einfluſs der Körpergröfse auf die Gröfse der Raumschwelle schien sich bei den beiden Versuchspersonen geltend zu machen: der kleinere Reagent B. erkannte schon in geringerer Entfernung die Doppelreizung als der Reagent v. F.

Von Einfluſs ist aber vor allem die Intensität der Reize. Schwache Reize werden nicht so leicht getrennt wahrgenommen, selbst bei gröfserer Entfernung der Einzelreize von einander, wie stärkere. Zwei Beispiele mögen zur Illustration dienen:

Versuch vom 19. X. 1900. Nr. IV.

Reagent B. Punkte *p* und *r*, querliegend zur Längsaxe des Unterarms. Abstand 24 mm. *p* ulnar.

	p	*r*	
71.	11		ulnar
72.	11	10	sind wohl zwei
73.	5	5	zwei Reize! radial stärker.

Die unsichere Aussage in Versuch 72 verwandelt sich sofort in eine absolut sichere, so wie die Reizstärke erhöht wird. Dasselbe zeigt sich in folgendem Falle.

Versuch vom 23. X. 1900. Nr. II.

Reagent v. F. Punkte $\varkappa$ und λ ($\varkappa$ vorn am Handgelenk). Abstand 143 mm.

	$\varkappa$	λ	
20.	3	6	etwas gespürt, waren vielleicht zwei Reize, ganz unsicher
21.	2	5	jetzt deutlich zwei!

---

ein Vexirversuch; bei 3,6 mm ein Doppelreiz erkannt und ein Vexirversuch). Aufserdem finden sich diese Aussagen nur bei der Versuchsperson B., welche stets ein lebhaftes Interesse an der Disparation hatte, so dafs leicht hier der Zufall im Spiel sein kann. Es sei ferner erwähnt, dafs das eine Mal bei 3,2 mm zwei Reize erkannt wurden, nachdem der Reagent unmittelbar vorher die Hebel betrachtet hatte.

Diese Thatsache ist auffallend, denn man sollte eigentlich erwarten, dass bei stärkerer Reizung, entsprechend der dann in höherem Grade im Centralnervensystem erfolgenden Diffusion der Erregung, eine weitgehendere Verschmelzung der beiden Erregungen stattfinden müfste, und damit die Erkennung der Doppelreizung erschwert werden würde. Offenbar spielen hier aber psychische Einflüsse eine Rolle, welche in gewissem Maafse unabhängig sind von diesen Vorgängen in untergeordneten Centren.

Von Einflufs scheint es ferner für die Sicherheit, mit der ein Doppelreiz erkannt wird, zu sein, dafs die Einzelreize in ihrer Intensität möglichst gleich sind. Unbedingt nothwendig ist dieses aber nicht; es kann auch bei Ungleichheit in diesem Punkt sichere Erkennung der Doppelreizung möglich sein.[1] Besonders wenn einmal dieselbe sicher erkannt wurde, kann in unmittelbar darauffolgenden Versuchen eine starke Ungleichheit in der relativen Reizstärke eintreten, ohne die Disparation zu beeinträchtigen. Als Beispiel diene folgende Versuchsreihe.

Versuch vom 23. X. 1900. Nr. II.

Reagent v. F. Punkte $\varkappa$ (am Handgelenk) und λ. Abstand 143 mm.

	$\varkappa$	λ	
24.	2	5	zwei Reize
25.	2	5	wieder zwei Reize
26.		6	war äufserst schwach, glaube proximal
27.	2		distal deutlich
28.	2	6	zwei Reize
29.	2	7	ein deutlicher distaler und glaube auch noch ein schwacher proximaler
30.		7	nur proximal
31.	2	8	zwei Reize
32.	2	9	nur distal
33.	2		nur distal, deutlich
34.		9	nichts gespürt.

Die Reizstärke für den Punkt λ ist hier ständig verringert worden. Trotz der daraus resultierenden Ungleichheit (welche schon in den Versuchen 26 und 27 ausgesprochen ist) werden prompt zwei Reize erkannt, bis der eine Reiz schliefslich zu schwach wird, um sich überhaupt bemerkbar zu machen.

---

[1] Ueber die merkwürdigen Verhältnisse, welche dabei eintreten können, wird weiter unten im Zusammenhang berichtet.

Es wirken offenbar auch hier andere Ursachen mit als rein physiologische, nämlich psychische und von diesen speciell die Aufmerksamkeit. Dieselbe zeigt sich überhaupt von gröfster Bedeutung, ebenso wie wir es bei der Verschmelzung und Summation gefunden haben. Es gelten hier genau dieselben Forderungen wie dort, welche an die Aufmerksamkeit gestellt werden müssen, um gute Resultate zu erhalten. Sowohl Abhaltung äufserer Störungen ist nöthig, wie völlige Concentration der Aufmerksamkeit auf Erkennung der Doppelreizung. Es mufs gewissermaafsen das Bewufstsein auf diesen Punkt „eingestellt", eine Disposition in dieser Richtung vorhanden sein.[1] Dafs so etwas wirklich stattfinden kann, beweist der Umstand, dafs bei Versuchen, in denen ein Doppelreiz nach dem anderen sicher erkannt wird, auch eine Häufung der „Vexirversuche" statthat. Während nämlich im Allgemeinen nur ganz sporadisch ein Fall auftritt, wo ein Einzelreiz für doppelt gehalten wird, kann unter den genannten Verhältnissen eine Cumulation derartiger Aussagen eintreten, z. B.:

Versuch vom 19. III. 1900. Nr. IV.
Reagent B. Punkte p und r, Abstand 24 mm.

	p	r	
21.		11	vielleicht zwei Reize, unsicher
22.	9	11	vielleicht auch zwei Reize, stärker als vorher
23.	9		wohl auch zwei
24.	9	11	das waren zwei!

Neben einer grofsen Zahl richtiger Aussagen finden sich im weiteren Verlauf des Versuchs noch viele „Vexirversuche" (von 30 Doppelreizen werden 18 richtig erkannt, daneben sind 7 „Vexirversuche" zu verzeichnen).

Beachtenswerth ist in dem angeführten Beispiel, dafs doch ein Unterschied zwischen den Empfindungen bei den „Vexirversuchen" und denen bei den richtig erkannten Doppelreizen vorhanden ist: die sehr bestimmte Aussage bei Versuch 24 deutet darauf.

Besonders bei schwachen Reizen und gröfseren Entfernungen ist zur Erkennung der Doppelreize eine gewisse Uebung noth-

[1] Vgl. hierzu v. Kries in der *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane* 8, 14 f., wo von einer „dispositiven Einstellung" gesprochen wird.

wendig. Es mufs nämlich bei jeder Versuchsreihe der Reagent gewissermaafsen die Empfindung, welche mit zwei Reizen einhergeht, von neuem kennen lernen, um sicher die Disparation aussagen zu können. Dann kann für längere Zeit eine richtige Aussage der anderen folgen. Es sei folgendes Beispiel angeführt:

Versuch vom 19. X. 1900.

Reagent v. F. Punkte *z* am Unterarm und ein Punkt (*d*) am Handgelenk. Abstand 134 mm.

Es gehen mehrere ganz unsichere Aussagen über Wahrnehmung der Doppelreizung voraus, dann folgt plötzlich, ohne dafs eine Verstärkung der Reize stattgefunden hatte, die erste sichere Aussage:

	d	*z*	
22.	2	5	das war ein Doppelschlag und dann distal.
	2		

Im weiteren Verlaufe des Versuchs werden nun die Doppelreize stets sicher erkannt.

Es liefsen sich mehrere analoge Beispiele anführen.

Die wesentlichste Schwierigkeit, welche durch Uebung überwunden werden mufs, ist die, die Doppelreize dann zu erkennen, wenn die Einzelreize sehr weit von einander entfernt sind. In den drei Versuchen, welche mit sehr grofsen Abständen (134, 142, 143 mm) gemacht wurden, stellte es sich jedesmal im Anfange des Versuchs als sehr schwer heraus, das ganze Versuchsfeld gewissermaafsen auf einmal zu übersehen d. h. die Aufmerksamkeit auf beide weit von einander entfernten Punkte gleichmäfsig zu concentriren. Sie fährt sozusagen „hin und her" zwischen beiden Punkten, und die Aussagen sind so lange unsicher, als der Reagent nicht gelernt hat, beiden Punkten gleichmäfsig seine Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Soll die Doppelreizung als solche erkannt werden, so ist endlich nothwendig, dafs der Reagent im Allgemeinen nicht zu sehr ermüdet ist, sowie, dafs nicht durch zu schnelles Aufeinanderfolgen der einzelnen Reizungen eine Ermüdung im peripheren Sinnesapparat stattfindet. Es gelten hier im Wesentlichen dieselben Bedingungen, wie sie oben für das Zustandekommen der Summation angegeben wurden.

Auch in den vorliegenden Versuchen sind natürlich Fälle aufgetreten, in denen eine Disparation bestimmt zwar nicht aus-

gesagt wird, wo aber die Angaben darauf schliefsen lassen, dafs doch etwas wahrgenommen wird, was in irgend welcher Weise sich von der Empfindung, wie sie der Einzelreiz hervorruft, unterscheidet. Diese „Uebergänge zur Disparation“ sind sehr verschiedener Art.

Mehrfach findet sich z. B. die Aussage, dafs der Eindruck „ausgedehnt“, „linienförmig“ sei oder linienförmig imponire und gleichzeitig an den Enden der Linie stärker erscheine, etwa so: •----•. Der Eindruck auf der Haut kann als „flächenhaft“, „diffus“ oder „von ganz anderer Qualität“ wahrgenommen werden, als der Einzelreiz.

Während die eben genannten Empfindungen schon lange bekannt sind, ist eine andere Erscheinung früher noch nicht beobachtet worden. Es findet sich nämlich eine grofse Zahl von Aussagen, denen zufolge der Doppelreiz, wenn er nicht als solcher erkannt wird, an eine andere Stelle localisirt wird, als jeder Einzelreiz für sich. Voraussetzung ist dabei natürlich, dafs eine genauere Localisation der Einzelreize möglich ist und auch ausgesagt wird (z. B. radial-ulnar, proximal-distal).

Bei etwas gröfserem Abstand der einzelnen Reize von einander finden sich nun folgende Aussagen über die Empfindung bei der einfach empfundenen Doppelreizung hinsichtlich ihrer Localisation.

In einer ziemlich grofsen Zahl von Fällen wird der Eindruck in die Mitte zwischen beiden Einzelreizen localisirt, oder es wird ausgesagt, wenn z. B. der ulnare Reiz allein vorausgegangen ist, „nicht so ulnar wie vorher“. Es kann auch vorkommen, dafs der Reagent unsicher ist, wo er die Empfindung gehabt hat, während die Einzelreize sofort richtig localisirt werden, so z. B. in folgenden Aussagen.

Versuch vom 17. III. 1900. Nr. I.

Reagent v. F. Punkte x und y. Abstand 84 mm. x proximal.

	y	x	
86.	7	10	ja deutlich, fraglich wo?
87.	7	10	auch deutlich, wo?
88.	7		ja distal
89.		10	proximal
90.	7	10	deutlich etwas, wo?

Oft wird nur ausgesagt, dafs der Eindruck sich „an anderer Stelle“ befinde.

Genauer untersucht wurde diese interessante Erscheinung nicht, welche einen Beitrag bildet für die Thatsache der räumlichen Localisation vermittelst des Tastsinnes.

Quantitative Beziehungen zwischen den Einzelreizen bei Erkennung der Doppelreizung.

Ausgehend von der Thatsache, dafs bei gegebener Entfernung zweier Tastpunkte von einander bald eine Verschmelzung mit gleichzeitiger Summation der Eindrücke stattfindet, bald, wenn die Verhältnisse günstig liegen, eine Erkennung des disparaten Charakters der Doppelreizung auftritt, drängt sich unwillkürlich die Frage auf, wie sich die Intensitätsverhältnisse bei der Disparation verhalten, d. h. ob etwa auch in diesem Falle noch eine quantitative Beeinflussung beider Reize stattfindet oder nicht.

Besonders auf diesen Punkt gerichtete Versuche wurden zwar nicht angestellt, jedoch geben die vorliegenden Aussagen einen genügenden Anhalt, um einige Schlüsse in dieser Richtung ziehen zu können.

Es mufs als zweifellos erwiesen angenommen werden, dafs in solchen Entfernungen, bis zu denen noch Verschmelzung und Summation mit Sicherheit nachzuweisen ist, auch eine Verstärkung der Empfindung bei Erkennung der Doppelreizung stattfindet. Es kann dabei entweder die Gesammtempfindung stärker imponiren, wie diejenige eines Einzelreizes, oder es kann jeder einzelne Reiz für sich in der Doppelempfindung stärker erscheinen, als er empfunden wird, wenn er nur für sich gegeben wird. Es mögen einige Aussagen derart angeführt sein.

Versuch vom 15. III. 1900. Nr. V.
Reagent v. F. Punkte x und y. Abstand 84 mm. x proximal.

	x	y	
28.	14		ja sehr schwach, proximal
29.		8.5	auch so schwach, distal
30.	14	8.5	ja deutlich, sind zwei Reize.

Versuch vom 15. X. 1900. Nr. II.
Reagent B. Punkte α und β, α distal. Abstand 20 mm.

	α	β	
18.	5		
	5	7	zwei stärker, sind zwei Reize; eins distal
19.		7	
	5	7	eins proximal, zwei sind zwei Reize, stärker
20.	5	7	
	5		eins sind zwei Reize, stärker; zwei eigentlich nichts.

Es kann also bei Erkennung der Doppelreizung die Gesammtempfindung gegenüber der bei monostigmatischer Reizung verstärkt sein. Als Beispiel, dafs die Einzelreize jeder für sich in der Doppelreizung stärker imponiren, sei folgender Versuch angeführt.

Versuch vom 19. III. 1900. Nr. II.

Reagent B. Punkte *r* und *u* querliegend, *u* ulnar, *r* radial. Abstand 60 mm.

	u	*r*	
51.		8	radial schwach
52.	6		ulnar schwach
53.	6	8	zwei Reize, jeder für sich viel stärker als der Einzelreiz.

Es kann also nicht daran gezweifelt werden, dafs auch bei Erkennung der Doppelreizung eine Summation in dem Sinne stattfindet, dafs nicht nur der Gesammteindruck der Empfindung ein stärkerer wie bei der Einzelreizung ist, sondern dafs auch jeder Einzelreiz für sich in seiner Intensität durch den anderen verstärkt wird. Es ist das ja auch durchaus begreiflich, denn es ist nicht einzusehen, warum in Entfernungen, wo Summation bei Verschmelzung der Reize stattfinden kann, dieselbe nicht auch auftreten kann, wenn der Doppelreiz erkannt wird.

Diese Thatsache mufs, sofern sie allgemeine Geltung beansprucht, auch festzustellen sein, wenn eine starke Ungleichheit zwischen den Einzelreizen statthat, d. h. um einen extremen Fall anzunehmen, wenn der eine Reiz merklich, der andere untermerklich ist. In diesem Falle kann nämlich, wenn überhaupt die Bedingungen zur Erkennung des Doppelreizes gegeben sind, der untermerkliche Reiz dadurch, dafs er von dem anderen Reiz verstärkt wird, überschwellig werden, so dafs zwei Reize wahrgenommen werden. Eine diesbezügliche Versuchsreihe sei hier angeführt.

Versuch vom 19. III. 1900. Nr. II.

Reagent B. Punkte *u* und *r* querliegend, *r* radial, *u* ulnar. Abstand 60 mm.

	u	*r*	
29.		8	radial
30.	8	8	radial, vielleicht auch ulnar
31.	8		nichts
⋮			
59.	5	8	vielleicht zwei Reize

	u	*r*	
60.		8	eine Spur, radial
61.	5	8	zwei Reize deutlich
62.	5		nichts
63.	5		nichts
64.	5	8	ulnar (!) vielleicht auch radial
65.	5	8	zwei Reize!
66.	5		nichts
67.		8	ja radial.

Neben solch einem extremen Fall, wo der eine Reiz für sich ganz unmerklich ist, finden sich mehrere Versuche, in denen der eine für sich kaum merkliche oder sehr schwache Reiz bei der Doppelreizung deutlich wahrgenommen wird.

So merkwürdig diese Thatsache, dafs ein untermerklicher Reiz in dieser Art und Weise bewufst werden kann, erscheint, so erklärt sie sich doch ganz natürlich, wenn man berücksichtigt, dafs überhaupt eine gegenseitige Verstärkung zweier Reize möglich ist.

Eine derartige Summation bei Erkennung der Doppelreizung scheint aber nur bis zu solchen Entfernungen stattzufinden, bei denen auch sonst eine Summation mit Verschmelzung der Einzelreize vorkommt. In gröfseren Entfernungen finden sich keine Angaben mehr, welche für diese Erscheinung verwerthbar sind. In den mehrfach bereits erwähnten Versuchen mit Abstand der Punkte bis zu 143 mm findet sich vielmehr u. A. folgende Angabe.

Versuch vom 23. X. 1900.

Reagent B. Punkt *q* des Versuchsfeldes am Unterarm und ein Punkt am Handgelenk (*d*). Abstand 142 mm.

	d	*q*	
13.	5		distal, dann zwei Reize, alle drei schwach und ungefähr
	5	7	gleich stark.

Einige Male wird auch der Gesammteindruck, der durch die Doppelreizung bei Erkennung derselben hervorgebracht wird, als schwächer bezeichnet, wie die Empfindung des Einzelreizes. So in folgendem Beispiel.

Versuch vom 19. X. 1900.

Reagent v. F. Punkte *z* und *d* (am Handgelenk). Abstand 134 mm.

	d	*z*	
23.		5	
	2	5	zuerst der proximale und dann ein Doppelreiz, schwächer.
30.		5	
	2	5	zuerst deutlich proximal, dann schwächer, Doppelreiz.

Bei Ungleichheit in der Stärke der Reize kann es vorkommen, dafs in directem Gegensatz zum oben erwähnten Fall, wo der schwächere Reiz verstärkt wird, dieser ganz unterdrückt wird und garnicht zum Bewufstsein kommt. Es findet das offenbar dann statt, wenn die Bedingungen zur Erkennung der Doppelreizung nicht gegeben sind; es wird dann nur der stärkere Reiz wahrgenommen. Diese Erscheinung ist häufig beobachtet worden. Unter den vielen Beispielen sei nur eins herausgegriffen.

Versuch vom 17. III. 1900. Nr. III.

Reagent v. F. Punkte *r* und *u*, *r* radial, *u* ulnar. Abstand 68 mm.

	u	*r*	
45.	12	7	zwei Reize, radial etwas stärker als ulnar
46.	12	5	radial gefühlt, vielleicht auch ulnar
47.	14	5	radial
48.	5	12	ulnar stark
49.		12	nichts
50.		10	nichts
51.	5	10	ulnar stark
52.	5	9	ulnar stark
53.		9	nichts
54.		8	radial deutlich
55.	5	8	glaube zwei Reize.

Eine Erläuterung hierzu dürfte kaum nöthig sein. Das Beispiel dient zugleich dafür, zu zeigen, dafs die Bedingung, welche oben als günstig für das Zustandekommen der Disparation angegeben wurde, nämlich die möglichste Abgleichung in der Stärke der Einzelreize, richtig ist. Sobald dieselbe nämlich hier einigermaafsen erfüllt ist, werden auch zwei Reize erkannt.

Die vorliegenden Untersuchungen haben die Thatsache sichergestellt, dafs eine gegenseitige Beeinflussung zweier Tasteindrücke in quantitativer Hinsicht stattfindet. Dieselbe besteht fast ausnahmslos in einer gegenseitigen Verstärkung beider Eindrücke, wobei es gleichgültig ist, ob der doppelte Sinnesreiz zu einer Empfindung verschmolzen wird oder ob eine Erkennung seines disparaten Charakters stattfindet. Wir haben es also offenbar bei der Summation mit einer Erscheinung von allgemeiner Bedeutung zu thun, während die Disparation nur unter gewissen Umständen vorkommt. Es müssen demnach wohl zwei gänzlich verschiedene Ursachen für die Thatsache der Summation und

diejenige der Disparation herangezogen werden. Die erstere beruht anscheinend auf dem allgemeinen physiologischen Gesetz, dafs eine Erregung, welche die lebende Substanz trifft, durch eine zweite gleichartige in ihrer Wirkung verstärkt wird. Daraus erklärt sich die grofse Regelmäfsigkeit, mit der die Summation in den angestellten Versuchen eingetreten ist.

Ob die Disparation zu Stande kommt, wird offenbar von Momenten beeinflufst, welche nicht solch eine Constanz zeigen, wie sie einem physiologischen Vorgang von der genannten Art zukommt. Es müssen hier psychische Factoren in Frage kommen, und in erster Linie mufs die Aufmerksamkeit herangezogen werden. Warum erst von einer gewissen Entfernung an eine Erkennung der Doppelreize überhaupt möglich wird, läfst sich zur Zeit meiner Ansicht nach nicht angeben; vielleicht sind hier noch andere Einflüsse als die genannten betheiligt. Für das Schwanken in der Gröfse der simultanen Raumschwelle aber oberhalb dieser unteren Grenze (welche etwa in 20 mm zu setzen wäre) glaube ich, bieten die Schwankungen in der „Disposition", wie man allgemein etwa sagen könnte, eine genügende Erklärung.

Die Erscheinung der „Subtraction", welche zuweilen auf grofse Entfernung vorzukommen scheint und gerade den entgegengesetzten Vorgang wie die Summation bedeutet, glaube ich ebenfalls nur auf psychische Ursachen beziehen zu können, etwa so, dafs man eine Theilung der Aufmerksamkeit annimmt. Jedoch kann ich diese Erklärung nicht anders als eine Vermuthung bezeichnen, zumal überhaupt die Subtraction selbst nicht viel mehr als eine Annahme ist, zu der ich mich durch die wenigen Aussagen in dieser Richtung berechtigt glaubte. —

Zum Schlufs ist es mir Bedürfnifs, meinem hochverehrten Lehrer Herrn Professor M. von Frey meinen herzlichsten Dank auszusprechen, sowohl für die Anregung zu der vorliegenden Arbeit, wie für die grofse Liebenswürdigkeit, mit der er mich bei derselben nach jeder Richtung unterstützt hat. Aufserdem bin ich ihm zu Dank verpflichtet dafür, dafs mir die Hülfsmittel des physiologischen Instituts zu Würzburg zur Verfügung gestellt wurden.

Lebenslauf.

Ich, Arthur Bernhard Brückner, russischer Staatsangehörigkeit, bin geboren am 24. August 1877 zu Dorpat als Sohn des verstorbenen Kaiserlich russischen Wirklichen Staatsraths Universitätsprofessors Dr. Alexander Brückner in Dorpat. Nach Besuch des Kronsgymnasiums zu Dorpat und von 1891 an des Gymnasiums zu Jena erwarb ich mir am 6. März 1896 das Reifezeugnifs in Jena und bezog im April 1896 die Universität Heidelberg. Daselbst studirte ich im Verlaufe des Sommersemesters 1896, darauf in Jena (W.-S. 1896/97 — W.-S. 1897/98), München (S.-S. 1898 — W.-S. 1898/99) und Würzburg (S.-S. 1899 — S.-S. 1900). Der ärztlichen Staatsprüfung unterzog ich mich in Würzburg und wurde am 9. Februar 1901 als Arzt approbirt. Vorstehende Dissertation habe ich unter der Leitung des Herrn Professor Dr. M. von Frey verfafst.

Druck von Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.), Naumburg a. S.